

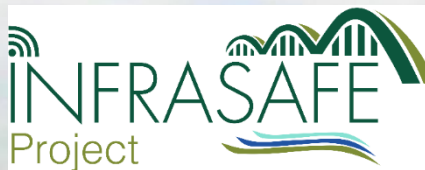
**G. Gottardi, L. Govoni, C.G. Gragnano, A. Mentani**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali,  
Università di Bologna

**M. Bittelli**

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari,  
Università di Bologna

# INFRASAFE: Smart monitoring for safe infrastructures



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# INFRASAFE

## Obiettivi ed attività di ricerca geotecnica

- PREMESSA:** I regimi di filtrazione che si innescano nell'argine durante un fenomeno di piena si mantengono **lontani** dal raggiungimento delle **condizioni permanenti**;
- PROBLEMATICA:** Il risultato delle analisi di stabilità condotte in **regime transitorio** è affetto da **elevata incertezza** anche per la conoscenza limitata delle **condizioni iniziali**.
- ATTIVITÀ DI RICERCA:** Accurata caratterizzazione delle proprietà di ritenzione, idrauliche e geotecniche dei terreni arginali e **monitoraggio in continuo** delle principali grandezze fisiche incidenti nella valutazione della stabilità (**contenuto d'acqua, suzione**).
- FINALITÀ:** Sviluppo di un **sistema integrato** per la caratterizzazione ed il **monitoraggio** della **stabilità dei rilevati arginali** in dipendenza del **livello** e della **durata** degli eventi di piena.

# BACKGROUND

## Collasso dell'argine del fiume Secchia

Il giorno 19/01/2014 si è verificato un collasso globale di una sezione arginale del fiume Secchia (località San Matteo, Modena). Il conseguente evento di piena ha causato la fuoriuscita di circa 38M m<sup>3</sup> d'acqua, causando una vittima. Complessivamente, sono stati stimati danni alle infrastrutture e proprietà, pubbliche e private, per un totale di 220M €.



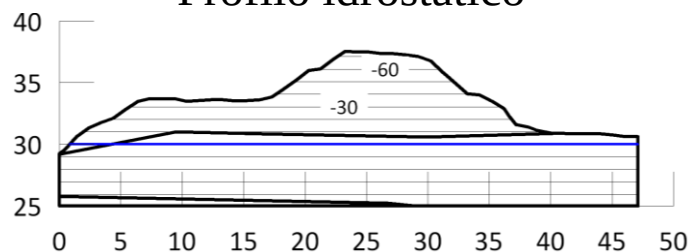
Fotografie dell'area dell'avvenuto collasso  
19/01/2014

# BACKGROUND

## Considerazioni su filtrazione e stabilità

### I ipotesi sulle condizioni iniziali:

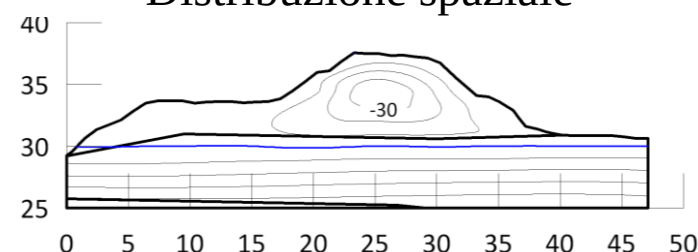
Profilo idrostatico



Min. suzione allo step iniziale: -74.3kPa  
 Probabilità di collasso iniziale:  $2.2 \cdot 10^{-8} \%$

### II ipotesi sulle condizioni iniziali:

Distribuzione spaziale

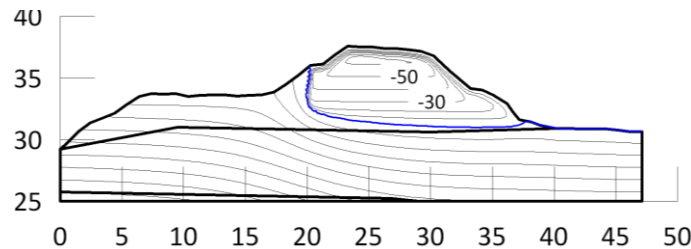


Min. suzione allo step iniziale: -39.2kPa  
 Probabilità di collasso iniziale:  $1.6 \cdot 10^{-5} \%$

# BACKGROUND

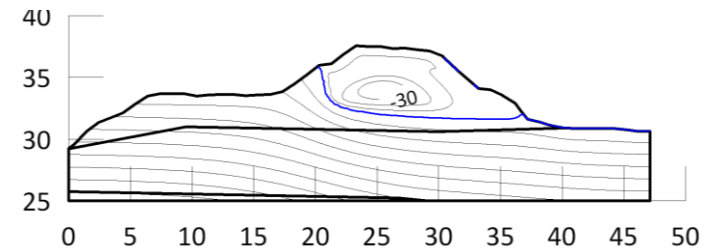
## Considerazioni su filtrazione e stabilità

### I ipotesi sulle condizioni iniziali: Profilo idrostatico

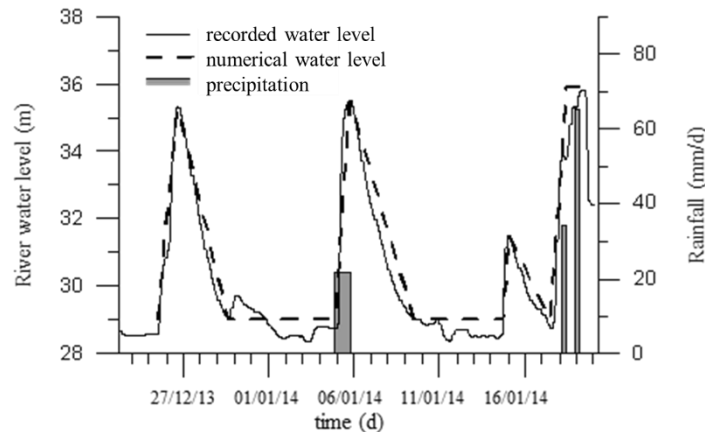


Min. suzione allo step finale: -63.0kPa  
Probabilità di collasso finale:  $1.0 \cdot 10^{-2} \%$

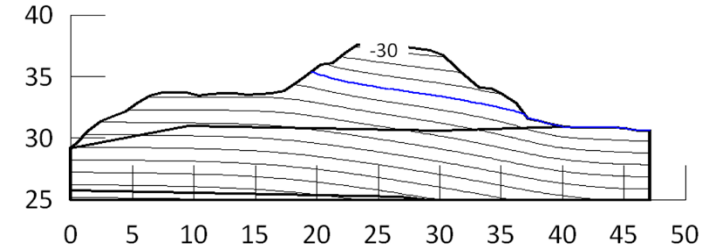
### II ipotesi sulle condizioni iniziali: Distribuzione spaziale



Min. suzione allo step finale: -36.2kPa  
Probabilità di collasso finale:  $1.8 \cdot 10^{-1} \%$



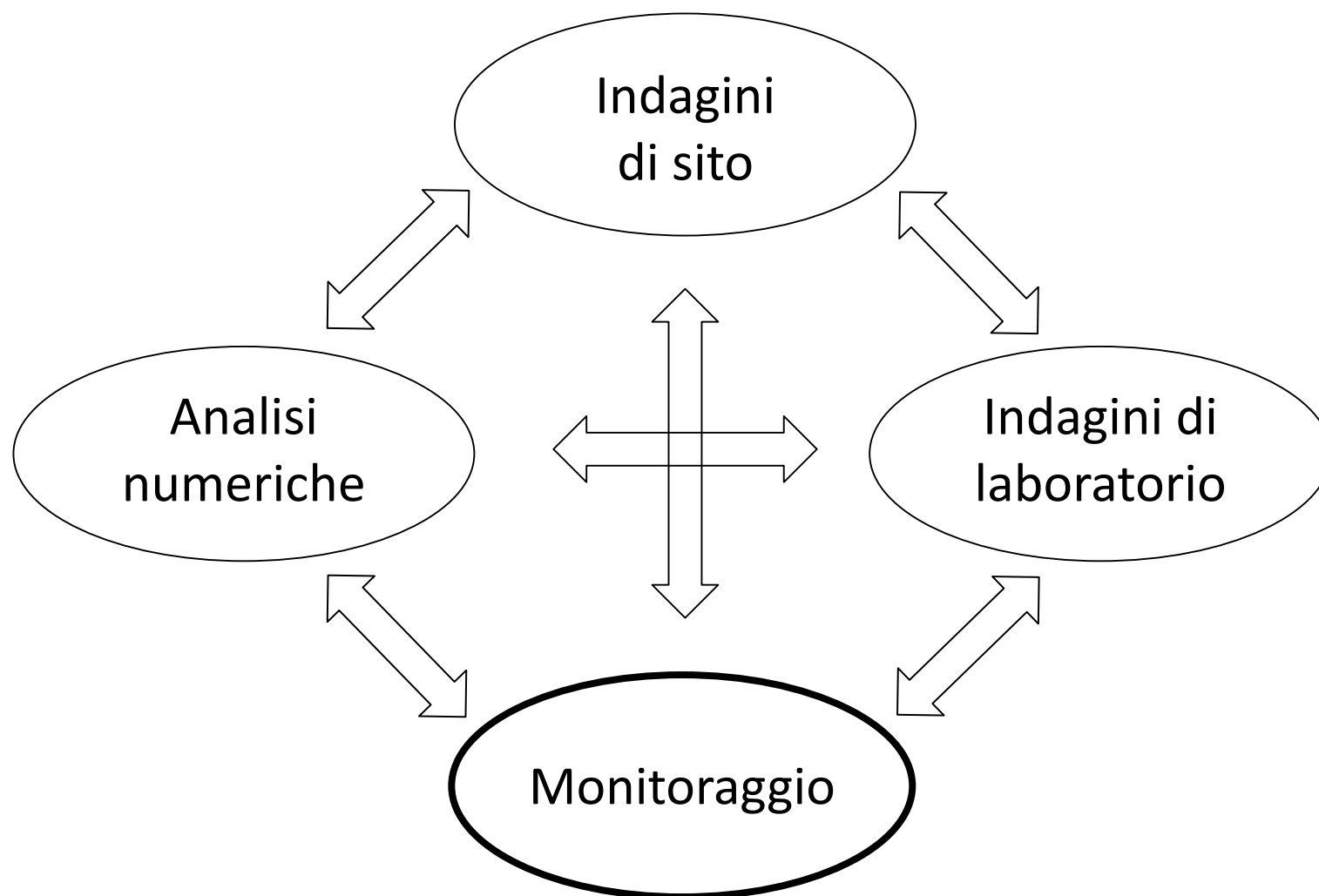
### Condizioni di moto stazionario Min. suzione: -34.4kPa



Max. probabilità di collasso: **35.6 %**

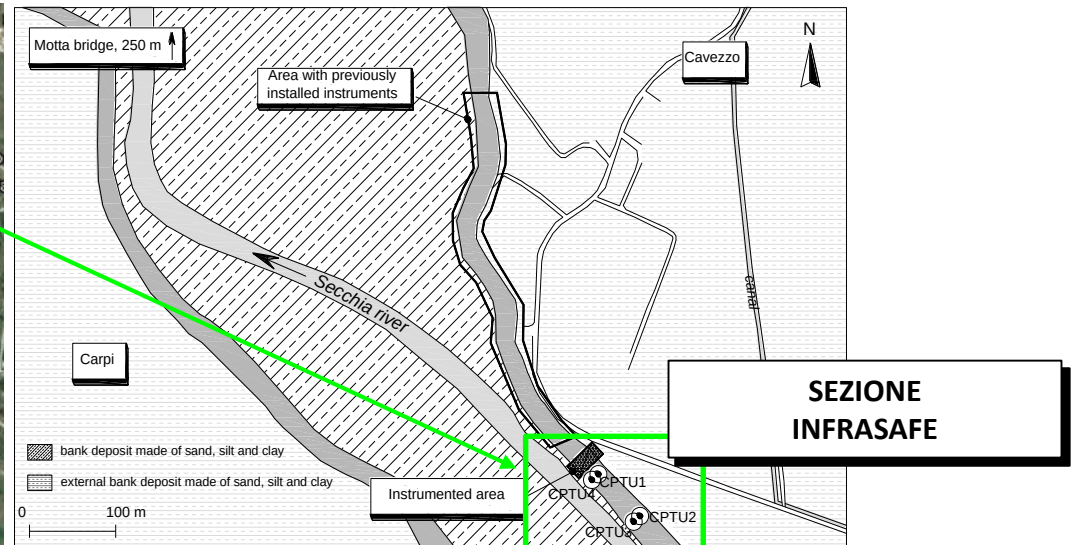
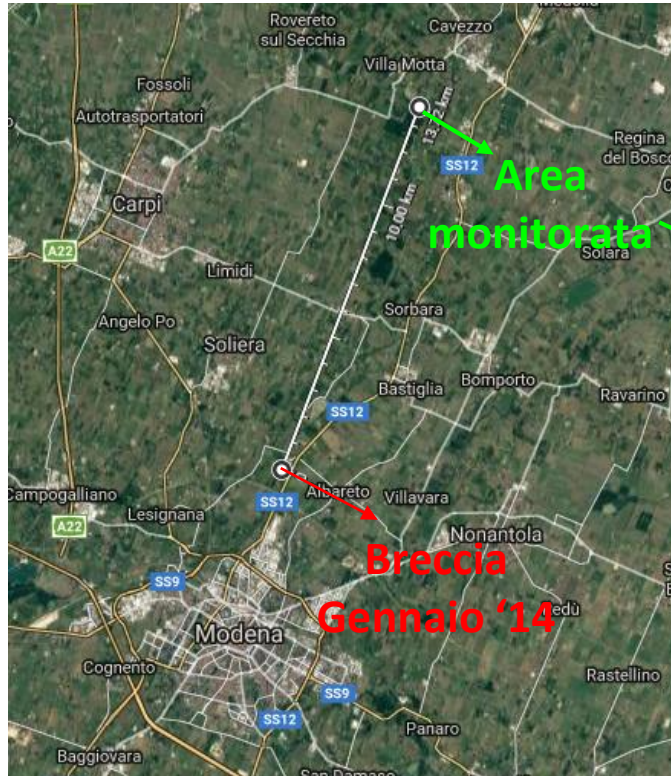
# BACKGROUND – SVILUPPI

## Metodologie e strumenti di analisi

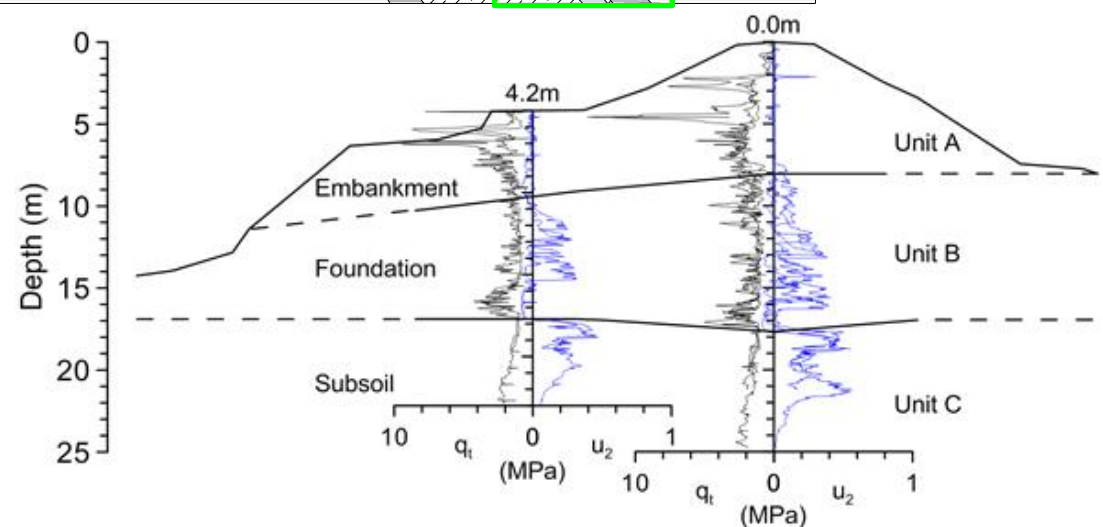


# AREA DI INTERESSE

## Scelta del sito e caratterizzazione

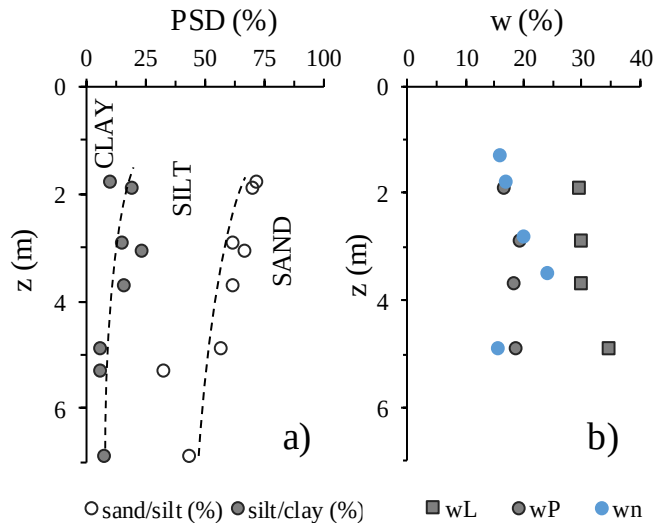


| Soil layer | $\phi'$ (°) | k (m/s)  |
|------------|-------------|----------|
| Embankment | 31.06       | 1.55E-07 |
| Foundation | 28.26       | 4.81E-09 |
| Subsoil    | 22.50       | 3.98E-10 |



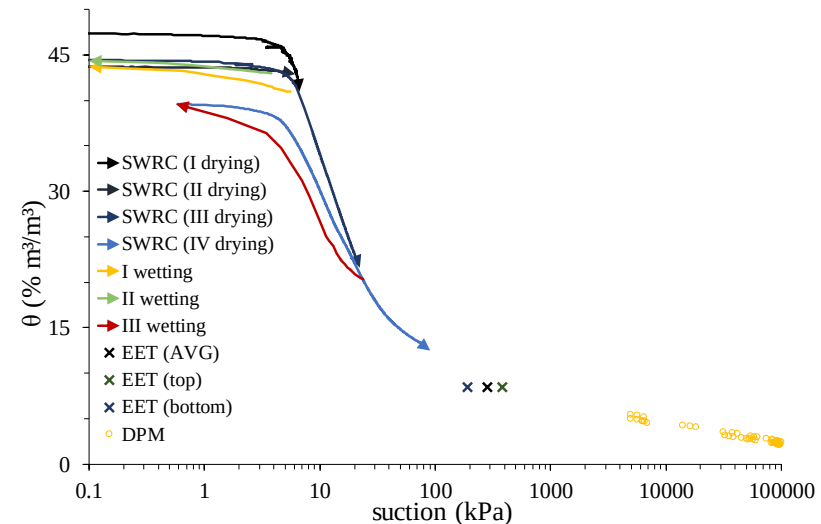
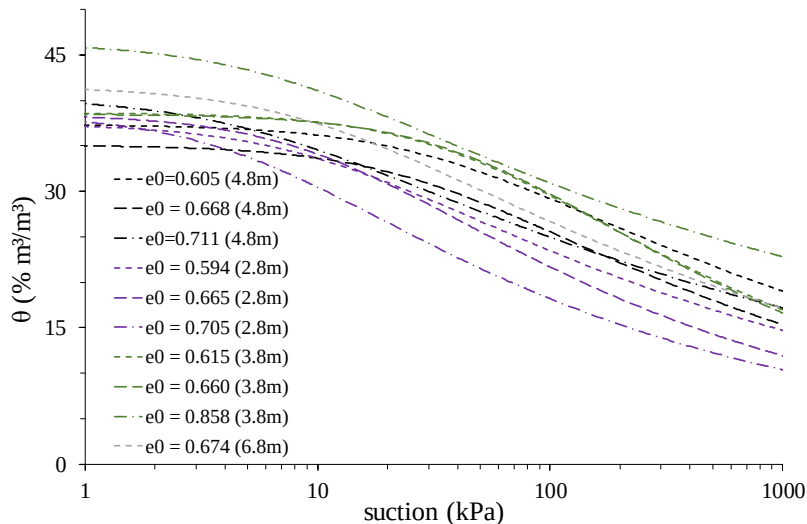
# AREA DI INTERESSE

## Scelta del sito e caratterizzazione



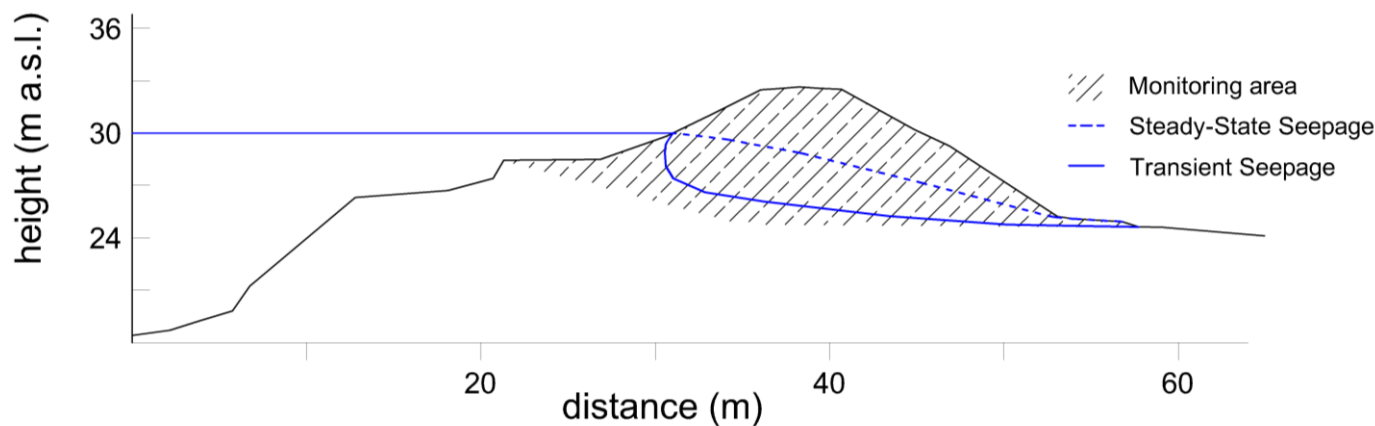
| Depth (m) | D <sub>50</sub> (mm) | w <sub>n</sub> (%) | LL (%) | PL (%) | G <sub>s</sub> (-) | Cu (-) | Cc (-) |
|-----------|----------------------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
| 1.3       | -                    | 15.7               | -      | -      | -                  | -      | -      |
| 1.8       | 0.032                | 17.0               | 29.4   | 16.7   | 2.71               | 133    | 2.4    |
| 2.8       | 0.021                | 19.9               | 29.9   | 29.3   | 2.57               | 23     | 0.2    |
| 3.6       | 0.045                | 24                 | -      | -      | 2.71               | 9      | 0.2    |
| 3.8       | 0.073                | -                  | 30.0   | 18.1   | 2.67               | 20     | 5.6    |
| 4.7       | 0.079                | 15.5               | 34.7   | 18.7   | 2.60               | 57     | 5.6    |
| 5.1       | 0.125                | -                  | -      | -      | -                  | 18     | 3.4    |
| 6.9       | 0.087                | -                  | -      | -      | 2.65               | 24     | 5.2    |

D<sub>50</sub>= median diameter; LL= limit liquid; PL= plastic limit; G<sub>s</sub>= specific gravity; Cu= uniformity coefficient; Cc= curvature coefficient



# SISTEMA DI MONITORAGGIO

## Progetto e realizzazione



### Strumenti in Golena:

| Verticale | Sonda | Profondità di installazione (m) |
|-----------|-------|---------------------------------|
| MPB1      | GS3   | 0.7                             |
|           | MPS-6 | 0.9                             |
| MPB2      | GS3   | 2.2                             |
|           | MPS-6 | 2.7                             |
| SPB1      | MPS-6 | 1.2                             |
| TB1       | T8    | 4.8                             |

### Strumenti in Argine:

| Verticale | Sonda | Profondità di installazione (m) |
|-----------|-------|---------------------------------|
| MPC1      | GS3   | 2.4                             |
|           | MPS-6 | 3.1                             |
|           | GS3   | 4.5                             |
|           | MPS-6 | 4.6                             |
| MPC2      | SM150 | 1.5                             |
|           | MPS-6 | 1.2                             |
| MPC3      | GS3   | 1.4                             |
|           | GS3   | 6.4                             |
|           | MPS-6 | 6.2                             |
| SPC1      | MPS-6 | 7.0                             |
| SPC2      | GS3   | 7.1                             |
| SPC3      | SM150 | 7.1                             |
| TC1       | T8    | 4.7                             |
| TC2       | T8    | 8.0                             |

# SISTEMA DI MONITORAGGIO

## Misura di suzione del terreno

Tensiometro UMS  
T8 (3)

1800 €



Misura diretta (-85, + 100 kPa)

| foro | profondità [m] | ubicazione |
|------|----------------|------------|
| TC1  | 4.6            | Testa      |
| TC2  | 8.0            | Testa      |
| TB1  | 4.8            | Golena     |

MPS-6  
(8)

250 €



Misura indiretta  
(- 10,000, - 9 kPa)

| FORO (numero) | Profondità [m] | ubicazione |
|---------------|----------------|------------|
| MPC1 (2)      | 3.1 – 4.6      | testa      |
| MPC2 (1)      | 1.2            | testa      |
| MPC3 (1)      | 6.2            | testa      |
| SPB1 (1)      | 1.2            | golena     |
| MPB1 (1)      | 0.9            | golena     |
| MPB2 (1)      | 2.7            | golena     |
| SPC1 (1)      | 7.0            | testa      |

# SISTEMA DI MONITORAGGIO

## Misura di contenuto idrico del terreno

GS3  
(7)

340 €



| FORO (numero) | Profondità [m] | Ubicazione |
|---------------|----------------|------------|
| MPC1 (2)      | 2.4 – 4.5      | testa      |
| MPC3 (1)      | 1.4            | testa      |
| MPC4 (1)      | 6.1            | testa      |
| MPB1 (1)      | 0.7            | golena     |
| MPB2 (1)      | 2.2            | golena     |
| SPC2 (1)      | 7.1            | testa      |

SM150-T  
(2)

400 €



|      | profondità [m] | ubicazione |
|------|----------------|------------|
| MPC2 | 1.5            | Testa      |
| SPC3 | 7.1            | Testa      |

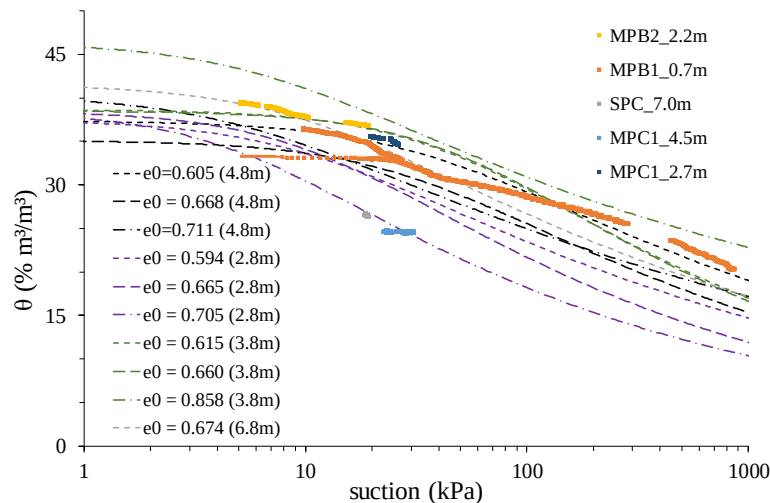
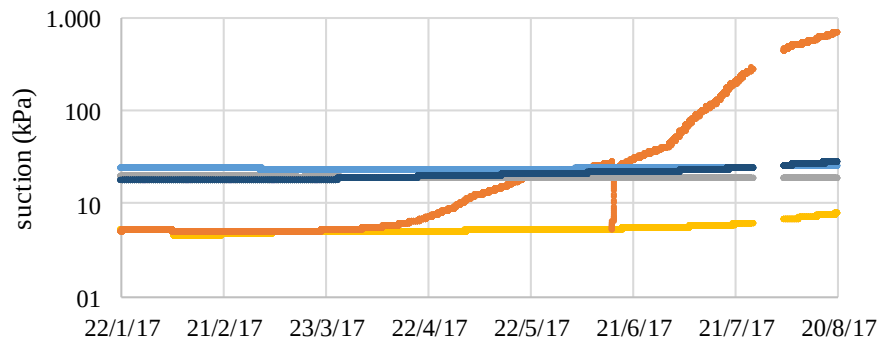
**STRUMENTI IMPIEGATI IN AMBITO  
AGRONOMICO – COLTRI PIÙ SUPERFICIALI**

# ANALISI SPERIMENTALI

## Confronti: misure di sito-laboratorio

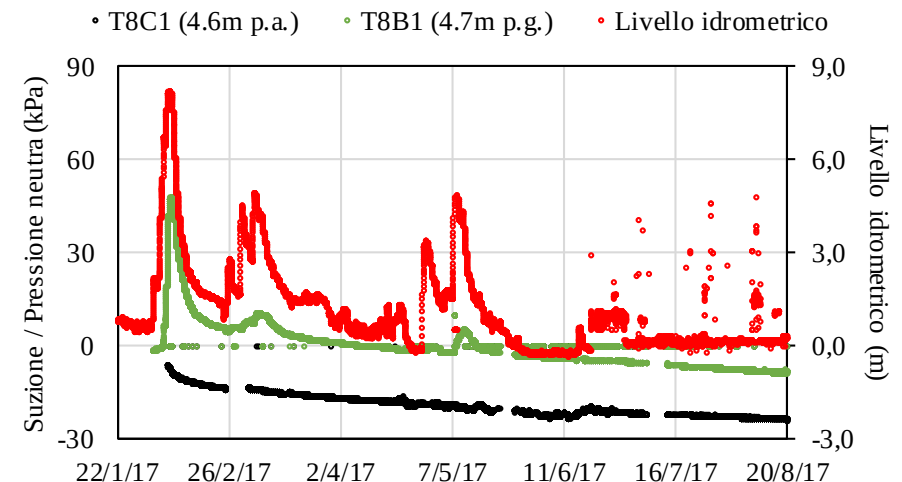
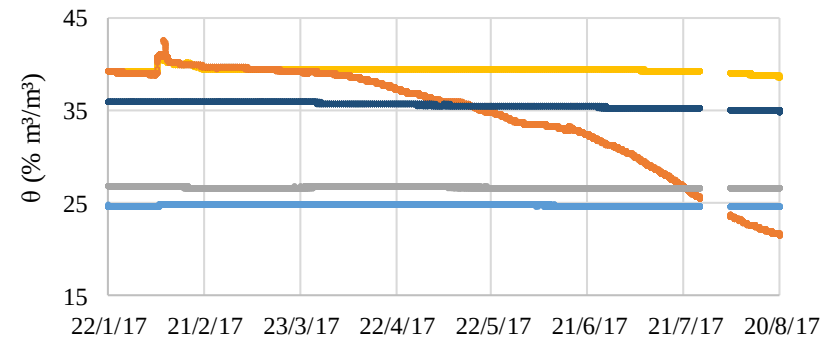
### MPS-6

- MPS-6 365 (MPB2\_2.7m) • MPS-6 264 (MPB1\_0.9m) • MPS-6 293 (SP2\_7.0m)
- MPS-6 381 (MPC1\_3.05m) • MPS-6 273 (MPC1\_4.60m)



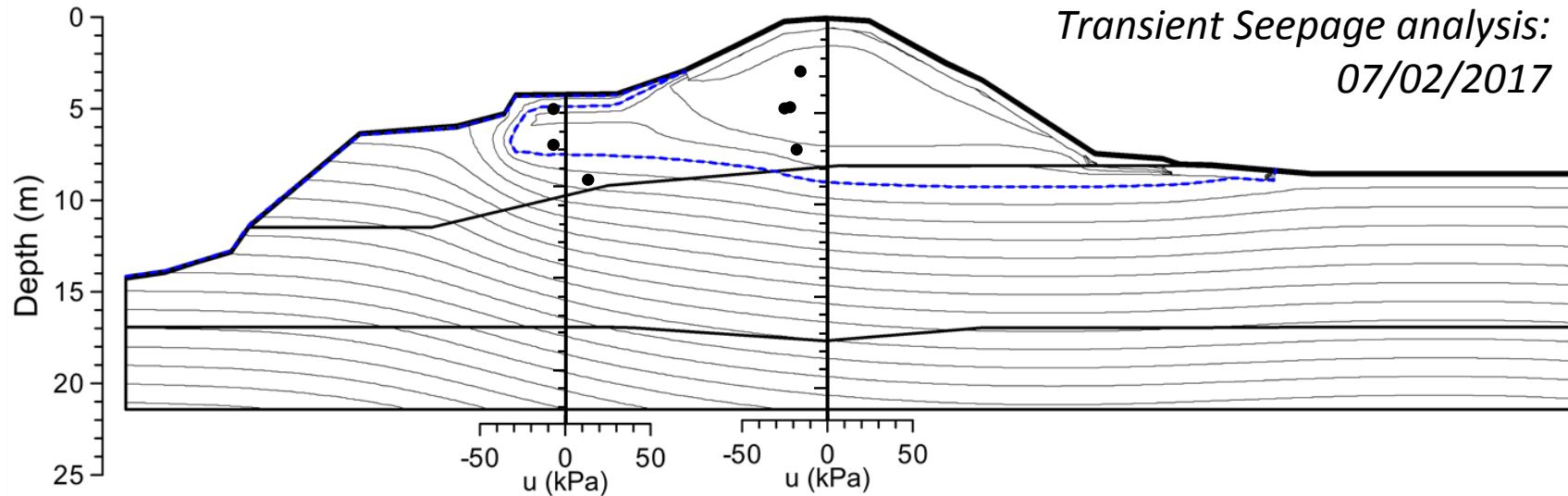
### GS3

- GS3 572 (MPB2\_2.2m) • GS3 551 (MPB1\_0.7m) • GS3\_571 (SPC2\_7.1m)
- GS3\_568 (MPC1\_4.5m) • GS3\_554 (MPC1\_2.4m)

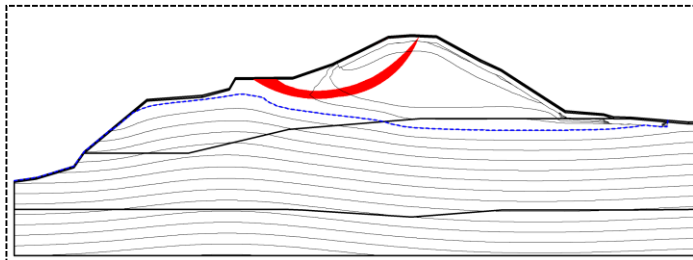


# FILTRAZIONE E STABILITÀ

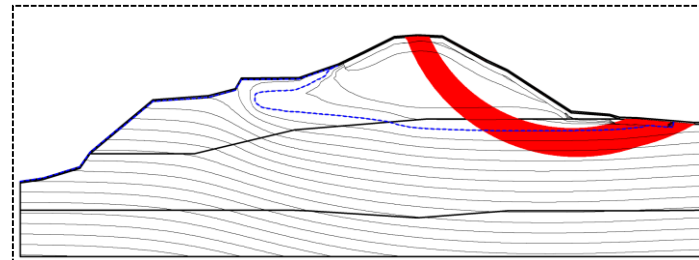
## Analisi numeriche preliminari



*Inner slope stability: 10/02/2017*

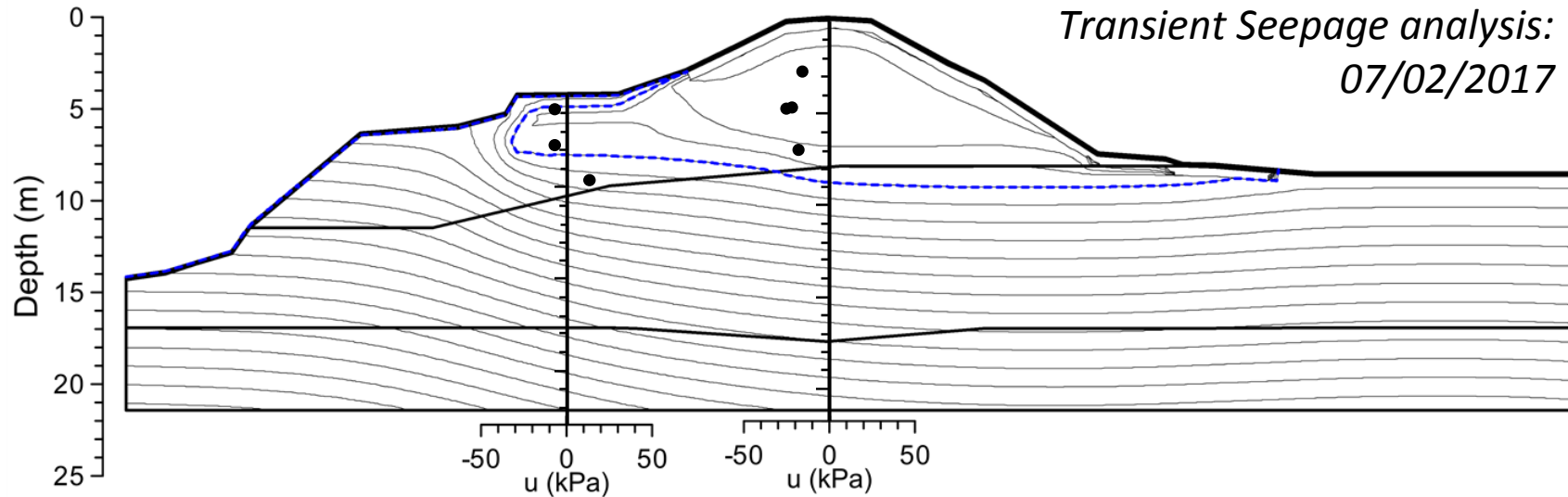


*Outer slope stability: 07/02/2017*

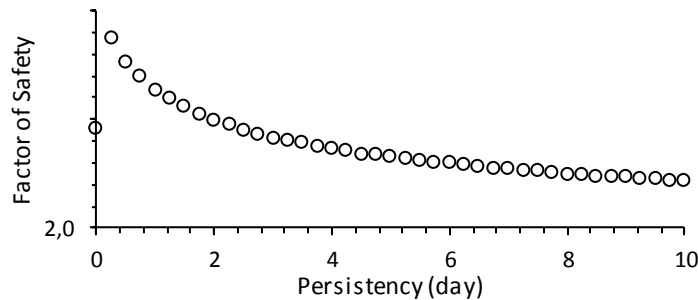


# FILTRAZIONE E STABILITÀ

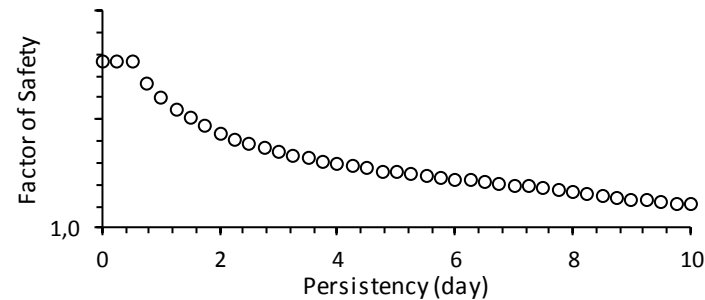
## Analisi numeriche preliminari



*Inner slope stability: 10d event*



*Outer slope stability: 10d event*



# CONCLUSIONI

## Traguardi e sviluppi della ricerca

---

Un **sistema integrato per il monitoraggio in continuo** delle principali grandezze fisiche incidenti sulla **filtrazione e stabilità** arginale è stato realizzato e verificato in termini di:

- **Fattibilità** e validazione dei risultati;
- **Bassi costi** di installazione, gestione, e funzionamento;
- Raccolta di dati accurati ed in **tempo reale**;
- Implementazione in **modelli numerici**.

# CONCLUSIONI

## Traguardi e sviluppi della ricerca

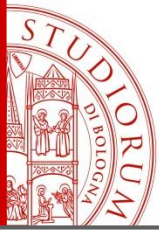
Grazie ad una catena di dati composta da:

- **caratterizzazione geotecnica** del sito;
- **misure di monitoraggio** delle proprietà dei terreni arginali a profondità significative per le applicazioni in oggetto;
- livelli idrici e portate degli eventi meteorici **registrati e previsti**;

si giunge alla creazione di un **modello previsionale**, opportunamente calibrato e perciò affidabile, capace di fornire **stime aggiornate della stabilità arginale**.

A completamento di tale sistema ed al fine di realizzare un utile strumento di **early-warning** per la gestione del **rischio da alluvione** è opportuno:

- prevedere **l'estensione del monitoraggio** a più sezioni, che risultino rappresentative per criticità di più ampi settori arginali;
- realizzare un **coordinamento** con gli enti preposti alla comunicazione delle situazioni di allerta.



# INFRASAFE

## Smart monitoring for safe infrastructures



*Gruppo di ricerca:*

**G. Gottardi, L. Govoni, C.G. Gragnano, A. Mentani**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, Università di Bologna

**M. Bittelli**

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna

*Collaborazioni scientifiche:*

**I. Rocchi**

Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark

**S. Cuomo, M. Moscariello**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno

**O. Buzzi**

Faculty of Engineering and Built Environment, University of Newcastle, Australia

**P. Castiglione**

Decagon Devices, Pullman, WA, USA

